

# Arquitectos Esqueletos

Número 3/2008  
Información del Consejo Superior  
de los Colegios de Arquitectos de España



Arquitectos 185,  
editado por el Consejo Superior de  
los Colegios de Arquitectos de España

Presidente:  
Carlos Hernández Pezzi

Consejo de redacción:  
Carlos Vidal Sanz Ceballos  
(Secretario General CSCAE)

TESORERO CSCAE  
Francisco Pérez Arbués  
(Consejero COA Aragón)

VOCALES  
Antonio Mena Anisi  
(Presidente del Consejo Andaluz  
de Colegios de Arquitectos)  
Manuel Urtiaga de Vivar García  
(Consejero COA Castilla-La Mancha)  
Fernando de Andrés Álvarez  
(Consejero COA León)  
Francisco Camino Arias  
(Consejero COA Murcia)  
Juan Martín Castillo Carpio  
(Consejero COA Comunidad Valenciana)  
M<sup>a</sup> Victoria Morrás Zuazo  
(Consejero COA Vasco-Navarro)

Directores  
Ignacio Borrego  
Néstor Montenegro  
Lina Toro

Equipo de redacción  
Carlos Ramos

Diseño y maquetación  
Jesús Rabazas

Administración  
José Antonio Casas

Publicidad  
NEX de Publicidad, s.l.  
Romero Robledo, 11  
28008 Madrid  
Tel. 91 559 30 03. Fax 91 541 42 69  
e-mail: nexpubli@arquinox.es

Redacción  
Paseo de la Castellana, 12  
28046 Madrid  
Tel 91 435 22 00. Télex arqs-46004-e  
Fax 91 575 38 39  
revista@arquinox.es

Imprime  
artes gráficas palermo s.l.  
Avenida de la Técnica, 7. Pol. Ind. Santa Ana  
Tel 91 499 01 30  
28522 Rivas (Madrid)

ISSN 0214-1124  
Controlado por OJD  
Tirada 48.430 ejemplares  
Depósito legal M-26 462-1975

El criterio de los artículos es responsabilidad  
exclusiva de su autor y no refleja necesariamente  
la opinión del Consejo Superior

Agradecimientos  
Uriel Fogué  
Ignacio Bisbal

A Fernando Borrego González, con admiración

Portada interior: versión a dos tintas basada  
en una fotografía de un hangar de Wachsmann

# Contemporánea indefinición tectónica del esqueleto

Jesús Donaire

“Hubo un tiempo en el que la meta de los arquitectos era crear una arquitectura y un urbanismo que utilizara e integrara de manera fluida la topografía y las fuerzas de la naturaleza tales como el viento, el agua y la luz. Pero, durante el Movimiento Moderno, la relación entre arquitectura y naturaleza se rompió, y tanto el espacio arquitectónico como el urbano se volvieron estrictamente “geométricos” y artificiales. No obstante, en la actualidad, a raíz de la aparición de los nuevos medios, la fluidez vuelve a cobrar validez. A medida que dichos medios van tomando control del espacio urbano y arquitectónico, éste se va volviendo cada vez más cinemático y fluido. Se ha transformado en una suerte de espacio transparente. Así pues, creo que estamos obligados a admitir una mayor apertura y flexibilidad en estos cerrados y artificiales espacios arquitectónicos y urbanos, combinando la fluidez creada por los medios con la fluidez de la naturaleza” (Toyo Ito).<sup>1</sup>

## Esqueleto

De todos los términos que la arquitectura ha tomado prestados de la naturaleza, esqueleto —del griego “*σκελετός*”, desecado— es sin duda aquel que establece una relación más directa entre sus varios significados. De entre varias definiciones resaltaría la del *American Heritage Dictionary* por su distinción entre endoesqueleto y exoesqueleto. Mientras el término esqueleto hace referencia explícita a un armazón que soporta una totalidad, la distinción endo/exo hace referencia, además, a una cualidad tectónica según su propia definición en referencia a su funcionamiento estructural. Tendríamos por lo tanto la distinción endo/exo como contenido de investigación. Pero cabría anotar que esta dualidad es más imprecisa en arquitectura que en naturaleza pues un edificio no da respuesta exclusiva a su funcionamiento, llamémoslo orgánico, sino también al habitar intelectual del hombre, por lo que en ocasiones esta apreciación resulta más ambigua y no sería suficiente para la definición de una propuesta arquitectónica.

De este modo, una distinción en la materia resultaría apropiada para ayudar a descifrar una evolución de la arquitectura, que ha dado respuesta a un problema físico —aquel de la estabilidad estructural—, y a un problema socio-político e intelectual a lo largo de la historia.

La piedra definió el espacio vertical y el acero el espacio horizontal, al igual que el hormigón; éste a su vez definió la fluidez formal por su condición de piedra líquida. Estos dos últimos, acero y hormigón, definieron simultáneamente el espacio visionario y las proposiciones urbanas de las mega estructuras del siglo XX, pero ¿cuál es la materia, y más concretamente el carácter tectónico, que define el espacio cinemático y fluido tanto urbano como arquitectónico —espacio transparente— del que nos habla Toyo Ito? Hablaremos pues de esqueletos que generan espacio gracias al entendimiento tectónico de su naturaleza constructiva y de esqueletos digitales, por lo que tienen de interés para la evolución de la arquitectura, bajo la duda razonable de su coherencia tectónica. La indefinición tectónica de la era digital o época paramétrica.<sup>2</sup>

## Esqueletos de piedra

Se considera el interior de la *Sainte-Chapelle de la Île de la Cité* de París, el punto cúspide del gótico donde la piedra se lleva a su máxima expresión tectónica y estructural y donde se hace más evidente la relación

arquitectura-estructura, literalmente arquitectura-esqueleto. Pero existe un momento singular, y de máxima expresión constructiva, en el gótico inglés tardío: la bóveda de abanico del *King's College* de Cambridge. No sólo se manifiesta aquí la relación arquitectura-esqueleto, sino que además el sistema constructivo adoptado en la bóveda de abanico seduce con su símil a la naturaleza. El sistema formal adoptado es la escenificación literal de aquel de la *Victoria Regia* que Konrad Wachsmann utiliza en la introducción de su libro *The Turning Point of Building*, comparándola aquí con la estructura de la cubierta del *Crystal Palace* de Joseph Paxton. Estos sistemas formales sirvieron de inspiración en el Medioevo, en la Revolución Industrial y siguen sirviendo en la era digital como se manifiesta en el libro *Morpho-Ecologies*, editado en 2006 por Michael Hensel & Achim Menges en la Architectural Association de Londres, abogando eso sí, por un nuevomarco de diseño arquitectónico firmemente enraizado en el paradigma biológico.

El espacio gótico, o espacio vertical, se crea con la línea estructural continua de piedra gracias a la figura del arquitecto-ingeniero (lo que será Mies en el siglo XX). Este es capaz de despojar a la arquitectura de los elementos innecesarios para la consecución del espacio, quedando su esqueleto. Mientras que en el Renacimiento, se deja paso a la figura del arquitecto-humanista (lo que será Le Corbusier en el siglo XX), apartando los temas estructurales a un segundo plano, dando protagonismo a los compositivos y a aquellos de la manipulación de la luz a través de la masa. El esqueleto en arquitectura desaparecerá durante cuatro siglos. Razones técnicas ralentizan también el desarrollo del esqueleto gótico tras agotar las reglas geométricas de proporción que daban estabilidad estructural a la piedra en los edificios pertenecientes a esta época. En 1638 Galileo plantea el problema del cálculo de las fuerzas de una viga en voladizo, llevando el material hasta su punto límite de estrés.<sup>3</sup> Y no es hasta 1826 cuando Claude-Louis Navier planteará la teoría de la plasticidad del material.<sup>4</sup> Ambos planteamientos serán clave para toda la producción ingenieril y arquitectónica posterior.

## Esqueletos de acero

Existe una característica común entre los esqueletos de piedra y los de acero en arquitectura: la ilusión por la desmaterialización o desaparición de la fachada. En el espacio gótico sucede de una manera más mística por medio de unas vidrieras que transforman la relación interior-exterior. Las vidrieras pigmentan la luz vertical pixelándola con matices de color; el espacio resultante es referenciado en la *Divina Comedia* como espacio infinito. Los esqueletos de acero que surgen en la revolución industrial, crean una relación directa entre el hombre y la naturaleza y entre el hombre y la ciudad. Son el marco de la nueva metrópolis y llegan a su punto álgido con las propuestas de los rascacielos en Berlín de Mies Van der Rohe. Beatriz Colomina compara en su texto *Skinless Architecture*<sup>5</sup> los collages nocturnos del proyecto de rascacielos de vidrio de Mies, 1922, con las primeras radiografías del cuerpo humano realizadas en el siglo XX; el esqueleto como la esencia del espacio arquitectónico. Pero no es esta continuidad entre el dentro y el fuera que se consigue a través del espacio horizontal miesiano despojado de fachada (o reduciendo esta a su mínima expresión: la membrana del vidrio, haciendo así evidente la estructura) lo

que interesa resaltar, sino la cualidad tectónica de la articulación de un esqueleto metálico como precursora de un sistema espacial. Y para esto volvamos al *Crystal Palace* de Joseph Paxton (con Fox y Henderson), y a los dibujos de los detalles constructivos de este edificio, pues aquí se entiende que la solución del detalle es razón primigenia de la construcción del espacio. La argamasa del gótico es sustituida aquí por sistemas de articulación en los que las fuerzas del edificio se transmiten tanto en vertical como en horizontal; recordemos en este punto que los bocetos de la primera propuesta para el *Crystal Palace* muestran una gran nave de cubierta horizontal. Eventualmente, y gracias al ingenio de Alexander Graham Bell, esta idea adireccional de transmisión de cargas será traducida en sus esqueletos aéreos desarrollados con un sistema estructural basado en el tetraedro. Combinando un número arbitrario de estos elementos espaciales, Graham Bell desarrolló técnicas para unir elementos metálicos con nudos, como la propia naturaleza de la conexión tridimensional sugiere. Esta genialidad tectónica germinará, en la primera mitad del siglo XX, dos figuras claves para el entendimiento de la arquitectura visionaria y la llamada *High Tech* de la segunda mitad del mismo siglo: el americano Richard Buckminster Fuller y el alemán, nacionalizado americano, Konrad Wachsmann. La propuesta para la *Dymaxion House* de Fuller, estructuralmente estable entre su mástil central y el exoesqueleto –formado con tensores y articulaciones tridimensionales–, es un referente para entender el *Centre Pompidou* de París, diseñado por Richard Rogers y Renzo Piano. Se puede considerar a este edificio como la máxima expresión tectónica de exoesqueleto en acero. Un esqueleto que funciona como un reversible que ha dejado no solo sus huesos sino también sus órganos al exterior, ofreciendo así la máxima flexibilidad en el espacio interior.

En 1959 Konrad Wachsmann recibió el encargo de uno de los departamentos de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos de desarrollar un sistema estructural para unos hangares de grandes dimensiones. El sistema tetraédrico del armazón espacial diseñado permitía cualquier combinación constructiva, geométrica y tipológica y cualquier dimensión, con en un diseño flexible y anónimo. Pero en el caso de los esqueletos aéreos de Wachsmann no hay que referirse tanto a su esencia técnica, pues está tomada directamente del principio de Graham Bell, como a la imaginaria presentada en la descripción de estos hangares. Sus diseños a modo de esqueleto parecen ser prestados a Yona Friedman para sus propuestas de ciudad espacial, a Cedric Price para el proyecto del Fun Palace o a Constant Nieuwenhuis para su pueblo nómada de la Nueva Babilonia. La Nueva Babilonia donde, bajo la misma cubierta, con la ayuda de objetos móviles, se construye una residencia compartida; un área vividera temporal y constantemente remodelada; un campo para nómadas a escala planetaria.<sup>6</sup> El esqueleto ligero de acero no es sólo la proposición del espacio horizontal sino una plataforma, según Reyner Banham,<sup>7</sup> de múltiples posibilidades:

Estas inmensas estructuras, muy en la línea del *urbanisme spatial* si atendemos a sus bastidores, tenían, paradójicamente, la misión de acoger la más ligera de las actividades humanas, la vida urbana vista como la participación en un juego abierto, terrenos de juego gigantescos para el *Homo Ludens*.

### Esqueletos de hormigón

El hormigón en masa, que llegó a su máximo esplendor con la construcción del Panteón de Roma, estuvo prácticamente ausente durante casi 2000 años y es en Francia, cuna también del esplendor del acero junto a Inglaterra y Alemania, donde resurge este material. Fueron dos ingenieros franceses los pioneros del hormigón armado: Joseph Monier, con su patente de forjado armado en 1867, y más tarde François

Hennebique con su patente de 1892, en la que integraba en una sola pieza monolítica dos elementos constructivos distintos tales como un pilar y una viga. Estas patentes son la base con la que Auguste Perret, padre y referencia no sólo de Le Corbusier sino de toda la construcción moderna de estructuras en hormigón armado del siglo XX, desarrolla sus esqueletos portantes. Perret, en su libro *Contribution à une théorie de l'architecture*, publicado en 1952, escribe: Los grandes edificios actuales constan de una osamenta, un armazón de acero o de hormigón armado. Esta estructura es al edificio lo que el esqueleto es al animal.

De sus obras cabe resaltar, por lo que nos concierne en referencia a los esqueletos, dos de distinto carácter arquitectónico. La primera es una pequeña pieza de garaje en la calle Ponthieu de París, que data de 1905, donde por primera vez un esqueleto de hormigón armado se expone al exterior sin tratamiento, sirviendo de marco a las proporciones del edificio y a su organización interior. El segundo, que deja en evidencia el racionalismo clásico de Perret, del que nos habla Kenneth Frampton en su libro *Studies in Tectonic Culture, es el Musée de Travaux Publics*, de 1938. Aquí, sin menospreciar las cualidades técnicas con las que se resuelve las instalaciones del edificio –que desdoblan la estructura del endoesqueleto para formar una cámara a modo de chimenea por donde circulan los conductos de ventilación–, el edificio se manifiesta en una doble estructura: la del endoesqueleto y la del exoesqueleto, recordándonos a los templos griegos que aparecían en los dos grandes tratados de arquitectura de la Francia del siglo XIX,<sup>8</sup> base del conocimiento teórico de Perret. El exoesqueleto habla aquí del carácter y escala monumental de la obra arquitectónica. Esta voluntad de la nueva monumentalidad y de racionalismo estructural será clave en el entendimiento de los esqueletos de hormigón de todo el siglo XX. La maestría de Louis I. Kahn, en su proyecto de torre *Tomorrow's City Hall* de 1957 para Filadelfia, consigue desmaterializar la estructura tetraédrica monumental de hormigón armado al contraponerla, creando así una oposición tectónica, a la estereotomía del podio sobre el que está proyectada y con el muro cortina cristalino que conforma la fachada de la misma,<sup>9</sup> el resultado es de gran expresividad formal.

Reconociendo la importancia conceptual que el constructivismo ruso tuvo para la evolución de los esqueletos de acero o la de Antonio Sant'Elia en las mega estructuras de hormigón, la monumentalidad que expresa el hormigón lleva implícita una carga formal que emana de la propia naturalidad tectónica del hormigón como material de construcción. La lista de arquitectos en relación a esta monumentalidad formal es interminable: Eugène Freyssinet, Le Corbusier, Pierluigi Nervi, Paul Rudolph, Kiyonori Kikutake, Kisho Kurokawa, Miguel Fisac, Oscar Niemeyer o João Filgueiras Lima (Lelé) entre muchos otros. Pero son tres los esqueleto-edificios que resaltaremos con la intención de hacer hincapié en lo que concierne a la capacidad tectónica de un material para generar espacios. El primero es la Terminal de la TWA de Nueva York, diseñada por Eero Saarinen y cuya construcción finalizó en 1962. Aunque de este edificio existe un precedente diseñado por Robert Camelot, Jean de Mailly y Bernard Zehruss: el "Centre National des Industries et Techniques" de París, es en el edificio de la TWA donde la expresividad formal adquiere el grado máximo de fluidez que el hormigón, entendido como una piedra líquida, ha sido capaz de generar a modo de exoesqueleto como si del caparazón de una tortuga se tratase. El segundo es la Opera de Sidney de Jørn Utzon, cuyo concurso data de 1957. Aquí el hormigón se adapta a un sistema formal y geométrico siendo el endoesqueleto el soporte de las piezas prefabricadas que conforman la piel exterior del edificio. Phillip Drew relata en su texto *The Third Generation*, escrito en 1972, como una visita a Marruecos en 1948 suministró a Utzon un modelo de generación de forma molecular de arquitectura aditiva. La implementación de este concepto de sistemas

de generación orgánicos posibilitó que Utzon resolviera las demandas de estandarización sin sacrificar la flexibilidad esencial para organizar el terreno indeterminado de las funciones humanas. Finalmente destacar la exposición universal de Montreal de 1967, donde grandes esqueletos metálicos como la cúpula geodésica del pabellón de los EEUU de Fuller, o el pabellón *Man the Producer*, de Desbarats, Lebensold y Size, compitieron en monumentalidad con el proyecto *Habitat* de David Safdie y Boulva Barrot. La simplicidad de *Habitat* residía en la construcción del todo a base de apilar cajas estándar de hormigón. Aunque el propio apilamiento no fue suficiente para sustentar y dotar de circulaciones externas esta entidad, lo que sí quedó patente fue la capacidad formal del hormigón, no tanto como esqueleto en este ejemplo sino como de un tejido óseo poroso de piezas autoportantes.

### Esqueletos digitales

La piedra, el cristal, y la argamasa construyeron el espacio vertical gótico. El hierro y sus articulaciones tridimensionales protagonizaron el paso a la modernidad del acero construyendo los espacios horizontales de las naves industriales, galerías y estaciones de tren. La fluidez del hormigón armado construyó, con libertad formal, la nueva monumentalidad de las megaestructuras del siglo XX, pero ¿cuál es el material que construye, y con qué carácter, los nuevos esqueletos digitales que dan vida al espacio fluido contemporáneo? ¿Es sostenible vincular la idea de materialización a aquella de la germinación de una idea arquitectónica? Toyo Ito aborda, en referencia a su proyecto para el Centro de Artes Escénicas de Matsumoto, la cuestión del material como elemento permutable; esto equivale claramente a relegar la materialidad a una decisión a posteriori sin que por ello el proyecto pierda interés espacial ni voluntad tectónica. En algunas visiones contemporáneas se asume la existencia de una distancia considerable entre la producción teórica de los esqueletos digitales y la producción real de los mismos. La figura del arquitecto paramétrico, como Patrick Schumacher se haría llamar, parece ensimismada en razonamientos matemáticos, generando algoritmos que expanden el campo formal de la arquitectura, pero no por ello necesariamente el intelectual, pues un espacio fluido no sólo se logra abogando por la línea curva, por el spline,<sup>10</sup> o negando el ángulo recto (heurísticas negativas que llama Schumacher).<sup>11</sup>

En dos proyectos recientes, que basan su esencia espacial en su esqueleto estructural, surge la duda razonable de su indefinición tectónica. El proyecto para terminal portuaria de Yokohama en Japón, de FOA, y el Fórum para la Música, Danza y Cultura Visual en Ghent, Bélgica, de Toyo Ito. El primero nos permite apuntar que su fluidez espacial surge de una necesidad programática, y por lo tanto su tectónica no aparece hasta el proyecto de ejecución. Las múltiples secciones que cuentan la extrusión de su esqueleto parecen materializarse en un material fluido como el hormigón, pues su sección es constante y se adapta con orgánica naturalidad a las necesidades programáticas. La construcción final resalta una doble cualidad tanto en acabado como en materialidad entre el dentro y el fuera, sin por ello afectar a la fluidez programática germen de la idea espacial. El segundo ejemplo de arquitectura paramétrica es el proyecto de Toyo Ito en Bélgica, proyecto de un concurso no premiado, que se asimila a una imagen macro de un tejido óseo creando una atmósfera espacial sin precedentes. En este proyecto la tectónica es relegada a un segundo plano pues la importancia de la propuesta radica en su idea espacial. Las secciones que se muestran del proyecto son increíbles pero a la vez no creíbles. Ambos proyectos, con innovadoras propuestas de espacio fluido, acordes a la sociedad contemporánea, coinciden con el resto de los citados en los puntos anteriores en esa ilusión por la desaparición de la fachada; de nuevo como las radiografías

a las que hace mención Beatriz Colomina, la transparencia de su piel externa nos muestra el esqueleto y el potencial de sus espacios. El diseño paramétrico convierte el espacio continuo de Mies en el espacio fluido de nuestro momento contemporáneo, donde los elementos arquitectónicos se han transformado en una superficie única.

Describiendo su proyecto para la terminal de ferries de Yokohama como “una arquitectura sin exteriores”, lo que Foreign Office Architects quizá quisieron decir es que habían dejado de entender la arquitectura como una articulación material de la relación entre el espacio interior y exterior; habían dejado de pensar que la arquitectura necesitase un rostro o una fachada. Arquitectura sería, más bien, una piel-superficie con múltiples posibilidades que no hace distinción alguna entre el dentro y el fuera (Catherine T. Ingraham).<sup>12</sup>

El potencial del uso de la parametrización en arquitectura, con la simple fascinación de poder ubicar puntos en el espacio que den respuesta a múltiples variables (de programa, de climatología, de organización, de estabilidad estructural, etc.) y poder unirlos a través de una superficie única —a la vez esqueleto portante—, nos permite adentrarnos en un nuevo mundo de posibilidades. Técnicas de diseño avanzado por ordenador como *scripting* (programación), o diseño paramétrico, se suman a las herramientas o técnicas de proyecto. Aún así la habilidad de pensamiento tectónico del arquitecto sigue siendo clave para la adecuada materialización de las ideas. Nos adentramos pues en el placer de lo desconocido, como diría Cedric Price a raíz de sus propuestas para el Fun Palace, y en el campo de la investigación tectónica que nos permita construir los esqueletos digitales del futuro, y en consecuencia el espacio fluido, transparente, y por qué no, ingrátido, del que nos habla Toyo Ito.

### Notas

1. ITO, TOYO: Ensayo presentado en el simposio organizado por Columbia University en colaboración con el Museum of Modern Art de Nueva York y la exposición *Light Construction* el 22 de Septiembre de 1995.
2. PATRICK SCHUMACHER: De su texto *Parametricism as Style*, presentado en la Bienal de Venecia de 2008.
3. HEYMAN, JACQUES (1995): *The Stone Skeleton, Structural Engineering of Masonry Architecture*. Cambridge University Press. Pág. 5.
4. *Ibid.* 2. Pág. 6.
5. Publicado en el libro *The state of architecture at the beginning of the 21<sup>st</sup> century*, editado por Bernard Tschumi + Irene Cheng, de la serie *Columbia books of architecture*. Nueva York: Monacelli Press, 2003.
6. “New Babylon, A Nomadic Town”, escrito por Constant, para el catálogo de la exposición sobre *New Babylon* publicado por el Haags Gemeetenmuseum, La Haya, 1974.
7. BANHAM, REYNER (1976): *Megastructures: urban futures of the recent past*. New York: Harper & Row. Pág. 82.
8. *Historie de l'architecture*, de Auguste Choisy y *Éléments et théorie de l'architecture*, de Julien Guadet
9. Del texto *Louis Kahn: Modernization and the New Monumentality, 1944-1972*. Frampton, Kenneth (1995). *Studies in Tectonic Culture, The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*. The MIT Press, 1995.
10. En matemáticas e ingeniería el *spline* es la función que tiene valores específicos en un número finito de puntos formado por segmentos de funciones polinómicas, uniendo suavemente estos puntos y pudiéndose usar para funciones de aproximación e interpolación.
11. De su texto *Experimentation within a Long Wave of Innovation* (2008). Publicado en *Out There: Architecture Beyond Building*, Volumen 3: *Experimental Architecture*, Catálogo de la Bienal de Venecia de 2008. Cabría comparar estas heurísticas negativas de las que habla Schumacher con el éntasis griego o la determinación de no usar ángulo recto en Chillida.

**Jesús Donaire es arquitecto por la ETSAM y por la GSAPP de Columbia University, Nueva York, donde actualmente es becario Fulbright bajo la tutela de Kenneth Frampton y Enrique Walker. Ha colaborado extensamente con Jesús Aparicio, David Chipperfield y Alberto Campo Baeza. Vicecomisario y arquitecto del montaje de las exposiciones *Jóvenes Arquitectos de España* y *Solid States*, de Columbia University. Ha sido profesor ayudante en la ETSAM y en el Barnard College-Columbia University.**